

NOUVELLE MÉTHODE D'INSCRIPTION

DES

DIVERS ÉLÉMENTS CINÉMATIQUES

DU RÉFLEXE ROTULIEN

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue à la Faculté de Médecine de Montpellier

Le 22 Avril 1904

PAR

J. GAGNIÈRE

CHEF DES TRAVAUX DE PHYSIQUE BIOLOGIQUE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE
DE MONTPELLIER

Né au Villard-St-Christophe (Isère), le 1^{er} mars 1868

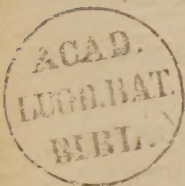
Pour obtenir le titre de Docteur en Médecine

MONTPELLIER

IMPRIMERIE DELORD-BOEHM ET MARTIAL

ÉDITEURS DU MONTPELLIER MÉDICAL

—
1904



PERSONNEL DE LA FACULTÉ

MM. MAIRET-..... DOYEN
FORGUE ASSESSEUR

PROFESSEURS :

Clinique médicale	MM. GRASSET 
Clinique chirurgicale.....	TEDENAT.
Clinique obstétricale et Gynécologie... ..	GRYNFELT
— Charg. du Cours, M. VALLOIS.	
Thérapeutique et Matière médicale.....	HAMELIN 
Clinique médicale	CARRIEU.
Clinique des maladies mentales et nerveuses	MAIRET 
Physique médicale	IMBERT.
Botanique et Histoire naturelle médicale.	GRANEL.
Clinique chirurgicale.....	FORGUE.
Clinique ophthalmologique.	TRUC.
Chimie médicale et Pharmacie.	VILLE.
Physiologie.....	HEDON.
Histologie.....	VIALLETON.
Pathologie interne.....	DUCAMP.
Anatomie	GILIS.
Opérations et Appareils	ESTOR.
Microbiologie.	RODET.
Médecine légale et Toxicologie.....	SARDA.
Clinique des maladies des enfants.....	BAUMEL.
Anatomie pathologique.....	BOSC.
Hygiène.....	BERTIN-SANS H.

Doyen honoraire : M. VIALLETON.

Professeurs honoraires : MM. JAUMES, PAULET (O. ), BERTIN-SANS E. .

Secrétaire honoraire : M. GOT

CHARGÉS DE COURS COMPLÉMENTAIRES

Accouchements.	MM. PUECH, agrégé.
Clinique ann. des mal. syphil. et cutanées. . .	BROUSSE, agrégé.
Clinique annexe des maladies des vieillards....	VIRES, agrégé.
Pathologie externe.....	JEANBRAU Léon, agrégé.
Pathologie générale.....	RAYMOND, agrégé.

AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM. LECERCLE.	MM. PUECH.	MM. VIRES.
BROUSSE	VALLOIS.	L. IMBERT.
RAUZIER.	MOURET.	VEDEL.
MOITESSIER.	GALAVIELLE	JEANBRAU.
DE ROUVILLE.	RAYMOND.	POUJOL.

M. IZARD, Secrétaire.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

MM. IMBERT, Professeur, <i>Président.</i>	MM. VIRES, Agrégé.
CARRIEU, Professeur.	POUJOL, Agrégé.

La Faculté de Médecine de Montpellier déclare que les opinions émises dans les Dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leur auteur ; qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A LA MÉMOIRE DE MA MÈRE

A MON PÈRE

J. GAGNIÈRE.

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE
MON TRÈS CHER MAÎTRE

MONSIEUR LE PROFESSEUR IMBERT

J. GAGNIÈRE.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR E. BERTIN-SANS

Hommage de respectueuse reconnaissance.

A MON MAITRE ET AMI

MONSIEUR LE PROFESSEUR H. BERTIN-SANS

J. GAGNIÈRE.

A MON AMI

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ LAPEYRE

A MON PREMIER MAÎTRE ET AMI

MONSIEUR LE PROFESSEUR A. MARCOZ

A TOUS MES MAÎTRES

DE LA FACULTÉ ET DES HOPITAUX

A MES AMIS

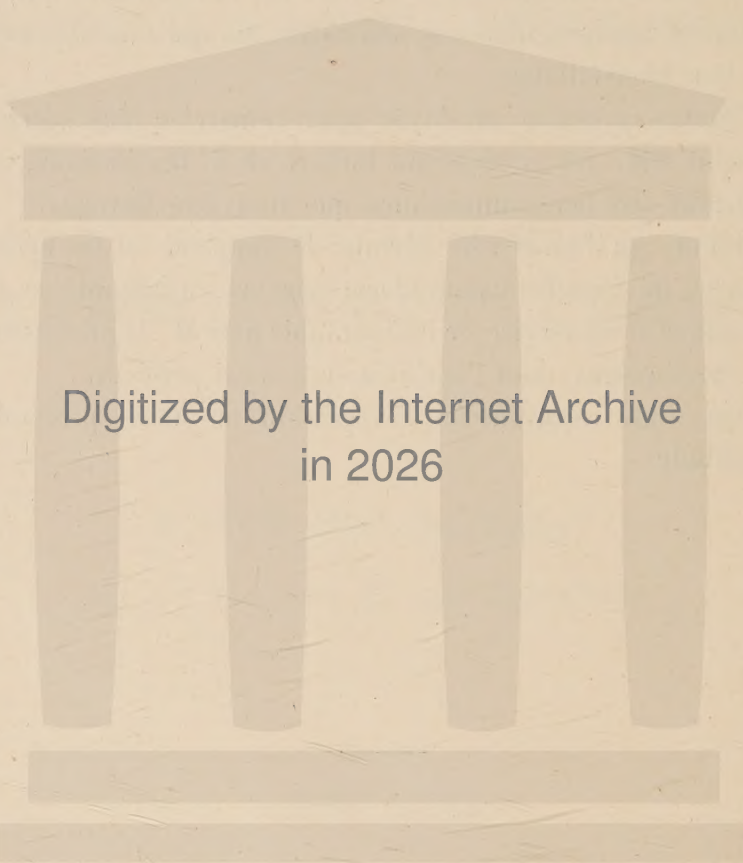
J. GAGNIÈRE.

Avant d'exposer le sujet qui fait l'objet de cette thèse, nous tenons à remercier les Maîtres de notre Faculté qui, à diverses reprises, nous ont donné des marques nombreuses de leur bienveillance.

Toute expression employée pour remercier plus spécialement MM. les professeurs Imbert et E. Bertin-Sans, ne pourrait dire la reconnaissance que nous leur devons.

Enfin, qu'il nous soit permis de rappeler ici les belles années de franche camaraderie passées au laboratoire de physique et au service de radiographie avec M. le professeur H. Bertin-Sans, dont l'amitié nous a été si précieuse.

Que tous reçoivent ici l'expression de notre profonde gratitude.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

TRAVAIL DU LABORATOIRE DE PHYSIQUE BIOLOGIQUE

NOUVELLE MÉTHODE D'INSCRIPTION

DES

DIVERS ÉLÉMENTS CINÉMATIQUES DU RÉFLEXE ROTULIEN

AVANT-PROPOS

Les cas sont nombreux dans lesquels l'exploration des réflexes tendineux, du réflexe rotulien en particulier, est regardée comme pouvant fournir en clinique un élément diagnostique de quelque importance. Mais le procédé d'exploration est sommaire et porte uniquement sur l'intensité du mouvement réflexe provoqué, intensité que l'on ne mesure pas d'ailleurs, mais que l'on apprécie seulement d'une façon assez grossière, en observant par la vue seule l'amplitude du déplacement de l'extrémité du membre exploré.

Cependant, si l'on percute le tendon rotulien, par exemple des malades à réflexes exagérés, hémiplegiques, hystéri-

ques, etc..., la trajectoire décrite par le pied apparaît comme tellement capricieuse et complexe, par rapport à celle d'un sujet normal, que son étude semble, *a priori*, devoir conduire à des résultats intéressants, s'il est possible d'enregistrer cette trajectoire dans des conditions telles que l'on puisse, au besoin, la reconstituer dans l'espace. Ce n'est pas seulement l'intensité du réflexe qui pourra alors être rigoureusement *mesurée* ; le temps perdu initial, la vitesse aux divers instants, pourront être également calculés, toutes déterminations qui constitueront la solution complète du problème de mécanique physiologique.

C'est de l'observation de divers malades à réflexes exagérés, adressés par les services de Clinique médicale au service d'Electrothérapie et de Radiographie de l'hôpital suburbain, qu'est née l'idée de ce travail, et c'est l'étude aussi complète que possible du phénomène des réflexes tendineux que nous nous sommes proposée. Nous avons, pour cela, eu recours à une méthode nouvelle d'observation, et, grâce à des modifications et à des perfectionnements successifs, notre technique nous permet actuellement d'obtenir simultanément les projections sur trois plans rectangulaires des trajectoires des extrémités antérieure et postérieure du pied, de déterminer le temps perdu initial avec une approximation qui peut atteindre 0^s,0025 et de calculer les vitesses avec lesquelles sont parcourues les diverses parties des trajectoires.

Le présent travail est consacré à l'exposé de notre méthode d'observation et à la description du mode opératoire.

Principe de la méthode adoptée

Inscription photographique de la trajectoire en projection

Au début de nos recherches, notre ambition se bornait à imaginer une méthode simple, d'un emploi facile, qui permît d'obtenir la projection, sur un plan de la trajectoire, de l'extrémité du membre exploré; nous espérions, en effet, trouver dans la forme de cette unique projection des caractères assez nettement différents, suivant les divers états, normal et pathologique, pour pouvoir en déduire des indications utiles relativement à l'état des muscles susceptibles d'intervenir dans le mouvement provoqué.

Laissant de côté la méthode graphique proprement dite comme trop complexe, étant donné le résultat très simple que nous nous propositions d'abord d'obtenir, nous songeâmes à l'enregistrement photographique, et c'est cette méthode que nous avons progressivement et fructueusement, croyons-nous, développée. Brissaud, il est vrai, avait déjà employé la méthode graphique à l'étude du réflexe rotulien dans le laboratoire de Marey, et, grâce à d'ingénieuses dispositions expérimentales ainsi qu'à des déterminations délicates, avait pu en retirer des indications précises quant au temps perdu initial. Cette méthode nous semble moins susceptible que celle de l'enregistrement photographique de fournir les multiples indications que l'on peut désirer obtenir par l'étude des réflexes tendineux; et la seconde, en outre, grâce à la technique spéciale que nous avons instituée permet de déterminer avec une approximation plus grande, ainsi que

nous le montrerons plus loin, la valeur du temps perdu initial. La méthode que nous avons choisie, d'abord à cause de sa simplicité plus grande lorsque nous nous proposons seulement d'obtenir la projection sur un plan d'une trajectoire, s'est donc révélée plus féconde et plus précise lorsque nous avons entrepris l'étude plus complète du réflexe rotulien. Aussi, à aucun moment de nos recherches, n'avons-nous eu à regretter notre choix du début.

C'est d'abord seulement avons-nous dit, l'inscription de la projection horizontale de la trajectoire de l'extrémité du membre que nous nous proposons d'obtenir. A cet effet, il a suffi de faire asseoir le malade sur un siège assez élevé, de disposer au-dessous du pied et dans une position convenable une glace inclinée à 45° et de braquer en face de celle-ci un appareil photographique ordinaire.

Pour limiter l'inscription à un point du segment du membre exploré, nous pouvions, à l'exemple de Marey, revêtir ce segment d'un manchon noir avec point blanc vers les orteils et tendre en arrière un écran également noir. Mais il eût fallu alors disposer d'un éclairage intense à chaque expérience, et nous eussions, par suite, été souvent dans la nécessité d'opérer en plein jour et en plein air, ce qui, bien des fois, présente des inconvénients multiples. Nous avons préféré fixer à l'extrémité antérieure du pied du sujet une minuscule lampe électrique, réunie au moyen de fils souples à un générateur d'électricité, ce qui nous permettait d'opérer à couvert, par tous les temps et à n'importe quelle heure.

La figure 1 représente la projection horizontale obtenue, dans les conditions que nous venons de décrire, de la trajectoire de l'extrémité antérieure du pied d'un malade à réflexes exagérés sur lequel nous avons tout d'abord opéré. On voit que cette projection, et par suite la trajectoire elle-même, sont assez complexes. L'extrémité du pied décrit d'abord,

d'arrière en avant, un premier arc de courbe à convexité interne, auquel succède, après un point de rebroussement, une ligne sensiblement transversale à concavité peu accusée et tournée en arrière. La projection s'infléchit alors assez brusquement et devient sensiblement rectiligne d'avant en arrière ; puis la pointe du pied revient en avant et en dehors, et la projection se continue par une courbe spirale, dont les spires se rapprochent de plus en plus du point de départ et de repos ; le mouvement s'achève enfin par quelques oscillations pendulaires dont la direction est assez fortement inclinée sur la direction de départ.

La figure 2 a été obtenue dans les mêmes conditions que la figure 1 et se rapporte à un cas d'hystérie. Mais l'inscription, dans les mêmes conditions, de réflexes de sujets normaux, nous montra bientôt que ces particularités précédentes, que révèle un examen superficiel, ne présentent pas de caractères différentiels suffisants pour que l'on puisse se borner à cette seule inscription de la projection horizontale de la trajectoire.

Il était par suite nécessaire d'analyser plus complètement et plus rigoureusement la courbe obtenue, et, à cet effet, nous nous sommes proposé d'obtenir, sur la plaque sensible, les vitesses successives avec lesquelles sont parcourues les diverses parties de la projection horizontale de la trajectoire, c'est-à-dire, en d'autres termes, de réaliser l'inscription photographique du temps.

INSCRIPTION PHOTOGRAPHIQUE DU TEMPS. — Pour l'obtenir, il nous a suffi de disposer, en avant et à petite distance de l'objectif, un disque opaque, percé d'ouvertures et animé, d'un mouvement uniforme de rotation. Nous nous sommes servi à cet effet d'un disque en aluminium monté sur l'axe de la dynamo d'un ventilateur électrique, aux lieu et place

des ailettes de celui-ci. La courbe obtenue dans ces conditions, identique quant à sa forme à celle de la figure 1 n'est plus indiquée par un trait continu, mais par une série de petits traits — notre premier disque était évidé au quart — dont les intervalles successifs sont proportionnels aux vitesses avec lesquelles ont été décrites les parties de courbe où on les considère.

La figure 3 est la reproduction du cliché obtenu dans ces conditions, le disque effectuant 18 tours à la seconde.

On déduit immédiatement de là que chaque trait de la courbe correspond à 0°044, et l'espace qui sépare deux traits consécutifs à 0°042. Une simple numération des traits et des intervalles successifs montre alors que :

la partie *ab* de la courbe a été décrite en 0°165 environ

—	<i>bc</i>	—	—	0°137	—
—	<i>cd</i>	—	—	0°275	—

INSUFFISANCE DU DISPOSITIF PRÉCÉDENT — EMPLOI DE DEUX LAMPES ET DE DEUX MIROIRS. — La courbe obtenue comme nous venons de le dire ne nous renseigne encore que sur le mouvement de la pointe du pied, mouvement tel qu'il apparaîtrait à un observateur qui serait couché à 3 mètres environ au-dessous du pied de la personne soumise à l'observation. Cette courbe, en d'autres termes, est la projection conique, sur un plan horizontal de la pointe du pied.

Or, d'une part, cette projection unique est insuffisante pour la détermination complète du mouvement dans l'espace. D'autre part, on ne peut, de cette seule indication, déduire ce qui revient, dans le mouvement, à l'articulation du genou, et ce qui est dû aux multiples articulations de la région tibio-tarsienne. Mais il est possible, comme nous allons le dire, et sans compliquer beaucoup le dispositif précédent, d'obtenir sur la plaque sensible toutes les indications nécessaires.

Tout d'abord, en effet, il suffit de disposer le miroir, dont nous avons parlé déjà, assez près du pied du sujet, pour pouvoir faire former sur la plaque sensible l'image directe de la lampe en même temps que l'image de la source virtuelle donnée par réflexion sur le miroir. On photographie ainsi simultanément les projections de la trajectoire de l'extrémité du pied sur un plan vertical antérieur et sur un plan horizontal. Ces deux projections sont en réalité suffisantes pour reconstituer, suivant les méthodes de la géométrie descriptive, la trajectoire réelle dans l'espace. Toutefois, en vue de l'étude qui doit être faite des clichés relativement aux vitesses, il est bon de photographier également la projection de la trajectoire réelle sur un troisième plan perpendiculaire aux deux précédents, et cela pour la raison suivante. Les miroirs dont nous nous sommes servi sont des glaces ordinaires en verre, étamées sur leur face postérieure, qui donnent donc des images multiples par suite de réflexions internes, et les premières de ces images multiples donnent une impression, sans doute moins intense que celle de l'image principale, mais encore parfaitement visible sur la plaque photographique. D'autre part, la réflexion sur l'enveloppe de verre de nos petites lampes à incandescence donne de même des images assez intenses pour impressionner la même plaque. Il résulte de là que chacun des petits traits d'une projection de la trajectoire, dans la région de cette courbe où la vitesse n'est pas très grande et en particulier au début, est en réalité multiple. Il est constitué par un trait d'impression plus intense, le seul dont il y aura lieu de tenir compte, accompagné de traits voisins moins visibles avec lesquels les premiers ne sauraient en général être confondus. Toutefois, lorsque le sens du mouvement est, sur une projection, le même que celui suivant lequel s'échelonnent les traits accessoires, une certaine confusion existe sur les clichés et il peut alors être difficile de

mesurer avec assez d'exactitude l'intervalle des traits principaux successifs. Mais, en raison même de la cause qui engendre cette confusion, celle-ci ne se produira jamais simultanément pour deux projections sur deux plans rectangulaires. Comme, d'autre part, deux projections sont suffisantes pour pouvoir étudier le mouvement réel dans l'espace, on aura toujours à sa disposition deux projections exemptes de confusion, si, sur le même cliché, l'on photographie trois projections de la trajectoire réelle suivant trois plans rectangulaires entre eux. C'est la raison pour laquelle nous avons ajouté à notre dispositif un deuxième miroir disposé verticalement et latéralement, assez près du pied du sujet et incliné à 45° sur le plan vertical perpendiculaire à l'axe optique de l'objectif de l'appareil photographique.

Sans doute, nous ne nous sommes pas préoccupé de réaliser minutieusement l'inclinaison à donner aux deux miroirs dont nous avons fait usage; d'autre part, les projections obtenues sur la plaque sont non des projections orthogonales mais des projections coniques; mais les erreurs pouvant résulter de ces circonstances sont négligeables, étant donnée la nature des renseignements à déduire de l'examen des clichés obtenus.

En ce qui concerne la part à faire, dans le mouvement résultant, à chacun des mouvements partiels de flexion de la jambe, de flexion et de latéralité du pied, il faudrait, pour pouvoir déterminer ultérieurement sur les clichés ce qui revient à chacun d'eux, munir le pied de trois lampes non disposées en ligne droite. Toutefois, comme le mouvement de latéralité est peu étendu et que l'inscription photographique des trois trajectoires des trois lampes rendrait très laborieuse l'étude des clichés, nous avons négligé les mouvements de latéralité du pied et avons muni celui-ci de deux lampes seulement disposées, l'une au niveau des orteils,



FIG. 1

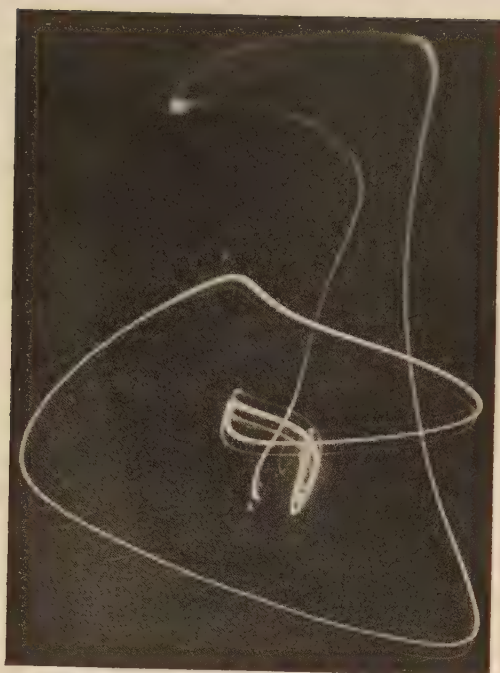


FIG. 2



FIG. 3



FIG. 4

l'autre au niveau du talon. Il est facile dès lors de chercher les points qui se correspondent dans les courbes tracées par la lampe fixée à l'extrémité du pied et par la lampe fixée au talon. On joint ces points par une droite et l'on a ainsi, en projection sur un plan horizontal, les positions successives de l'axe du pied.

Quelques clichés que nous avons examinés ainsi nous ont permis de comparer le mouvement précédent à celui d'une aiguille aimantée que l'on aurait écartée de sa position d'équilibre.

DÉTERMINATION DE LA VITESSE. — La projection, sur l'un quelconque des plans que nous avons choisis, de la vitesse de l'extrémité du pied par exemple, est aux divers instants proportionnelle aux intervalles existant entre les points successifs qui constituent la projection de la trajectoire. Si donc l'on mesure ces intervalles successifs, puis qu'on les porte en ordonnées sur une droite préalablement divisée en parties égales qui représenteront des temps égaux, et qu'on joigne les extrémités des ordonnées par un trait continu, la courbe ainsi obtenue représentera les variations de la projection de la vitesse réelle sur le plan considéré.

Les mêmes mesures, suivies des mêmes constructions effectuées pour une autre projection de la trajectoire, fourniront de même la représentation graphique des projections de la vitesse réelle sur un autre plan perpendiculaire au premier.

Il suffira dès lors de composer les projections correspondant aux mêmes instants successifs pour obtenir les valeurs successives présentées par la vitesse réelle.

Nous avons été amené, comme nous le dirons plus loin, à percer d'un assez grand nombre d'ouvertures l'obturateur rotatif qui permet d'obtenir en traits discontinus la projec-

tion de la trajectoire de chacune de nos lampes. Ces traits sont dès lors très rapprochés sur nos clichés, et la mesure de l'intervalle de deux traits successifs est sujette à une erreur relative non négligeable. Il est, par suite, nécessaire de mesurer seulement l'intervalle de n en n traits et de prendre pour unité le temps correspondant.

MESURE DU TEMPS PERDU INITIAL. — Un des éléments du mouvement réflexe dont la considération nous a paru devoir être des plus importantes est le temps perdu initial. Or, le dispositif que nous venons de décrire est encore insuffisant, pour qu'il soit possible de déterminer ce temps avec toute l'exactitude désirable. Aussi avons-nous dû y ajouter diverses dispositions qui nous ont conduit à une technique présentant, pensons-nous, quelque intérêt par sa nouveauté et par le degré de précision qu'elle permet d'obtenir.

C'est à la description des diverses parties de l'installation expérimentale qu'est consacré le chapitre suivant.

II

Description de l'installation

DESCRIPTION GÉNÉRALE. — Le siège sur lequel s'assied le sujet doit être assez élevé pour que l'on puisse disposer au-dessous des pieds de celui-ci le miroir qui doit fournir, par réflexion, la projection horizontale de la trajectoire. Nous avons, à cet effet, fait construire un tabouret à quatre pieds, dont la tablette supérieure destinée à servir de siège est à 1^m50 au-dessus du sol ; cette tablette a 0^m50 de large sur 1 mètre de long, ce qui donne la place pour disposer à côté du sujet un mouvement d'horlogerie du cylindre enregistreur, dont nous indiquerons plus loin l'usage.

Entre les pieds antérieurs du tabouret est placé une sorte de pupitre incliné à 45°, d'arrière en avant et de haut en bas, destiné à recevoir le miroir dont nous venons de parler ; la hauteur de ce pupitre doit, d'ailleurs, être telle que le milieu du miroir soit à la hauteur du centre de l'objectif photographique disposé à 4 mètres en avant.

Latéralement, mais assez près du premier miroir, est placé le second miroir, vertical et incliné à 45° sur l'axe optique de l'objectif. Cette double orientation du deuxième miroir est, d'ailleurs, obtenue avec une exactitude suffisante de la manière suivante : le tabouret étant disposé parallèlement à l'un des murs de la salle où l'on opère, on oriente par tâtonnement le deuxième miroir, placé à droite du tabouret par exemple, de manière à ce que l'image du mur de gauche de la salle, vue par réflexion dans le miroir,

apparaisse comme verticale et perpendiculaire à l'axe optique de l'objectif pour un observateur situé sur le prolongement de cet axe.

En avant de l'objectif, muni de son obturateur propre, est disposé le disque en aluminium ou obturateur rotatif, monté sur l'axe du moteur d'un ventilateur électrique aux lieu et place des ailettes de celui-ci. En avant, enfin, de l'obturateur rotatif, et un peu sur le côté, nous avons placé un diapason dont les vibrations sont entretenues électriquement et qui est destiné, comme nous l'indiquerons plus loin, à la mesure, par la méthode stroboscopique, de la vitesse de rotation de l'obturateur rotatif.

OBTURATEUR ROTATIF. — La figure 4 représente cet obturateur percé d'ouvertures multiples de dimensions et de groupements variés, et cela pour la raison que nous allons indiquer.

Un obturateur divisé en un petit nombre de secteurs égaux alternativement vides et pleins, ceux-ci ayant d'ailleurs une dimension telle que leur passage devant l'objectif empêcherait toute impression de la plaque pendant un certain temps, un tel obturateur, disons-nous, présenterait un assez grave inconvénient. Une fois sur deux en moyenne, en effet, la première des étincelles, dont il sera question plus loin, celle qui indique l'instant du choc du marteau sur le tendon rotulien, serait masquée, rendant ainsi la détermination de ce moment impossible. Un tel obturateur n'aurait, par contre, aucune influence sur la détermination du moment précis où le pied commence à se mouvoir, puisque, ainsi que nous le dirons plus loin, cet instant n'est déterminé qu'à 0.0024 près, ce qui représente précisément le temps que met un secteur de notre obturateur pour passer devant l'objectif.

Il résulte immédiatement de ce qui précède que les cau-

ses d'erreur signalées seraient supprimées si l'obturateur rotatif était constitué de telle sorte que la plaque sensible fût impressionnée d'une façon continue mais non constante comme intensité; la courbe obtenue offrirait alors des minima et des maxima d'impression dont on se servirait comme de traits discontinus, mais qui ne présenteraient pas les inconvénients signalés plus haut. Voici comment nous avons réalisé ce *desideratum*.

Rejetant l'idée d'un disque transparent et rendu plus ou moins opaque sur ses divers secteurs, nous avons adopté un disque en aluminium, que son poids plus minime rendait préférable, et l'avons divisé en quatre quadrants subdivisés eux-mêmes en quatre secteurs égaux (*fig. 4*).

Soit YOZ, l'un des quadrants, avec ses quatre secteurs YyaA, AabB, BbcC, CczZ.

Le premier secteur, YyaA, qui est un seizième $\left(\frac{1}{16}\right)$ du disque, a été percé d'une ouverture telle que, grâce à ses dimensions et en tenant compte du diamètre de l'objectif, la plaque fût impressionnée pendant un temps égal à $\frac{1}{16}$ de la durée d'une rotation du disque. Les considérations suivantes permettent de déterminer les dimensions à donner à l'ouverture pour que cette condition soit remplie.

Soit (*fig. 5*), $m n p q$ l'ouverture que, pour plus de simplicité sur la figure, nous supposerons immobile, tandis que l'objectif ω sera supposé tourner, dans le sens indiqué par la flèche, autour du centre O, d'un mouvement uniforme égal à celui dont le disque est, en réalité, animé.

La plaque sera impressionnée à partir du moment où l'objectif atteint la position ω , et l'impression continuera pendant tout le temps $\frac{1}{n}$ que mettra l'objectif pour venir en

ω' tangent à l'autre bord de l'ouverture, $\frac{1}{n}$ étant la fraction de la surface totale du disque que représente le secteur $m o q$. Mais, le mouvement continuant, la plaque sera encore

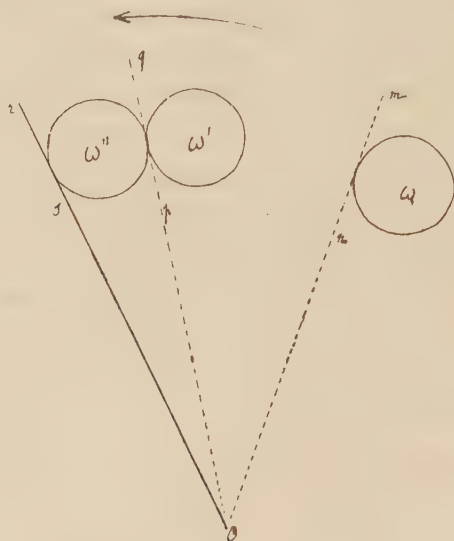


FIG. 5.

impressionnée pendant le temps $\frac{1}{n'}$ que mettra l'objectif pour passer de la position ω' à la position ω'' , $\frac{1}{n'}$ étant la fraction de la surface totale du disque que représente le secteur $q o r$. La durée totale d'impression de la plaque sera donc :

$$\frac{1}{n} + \frac{1}{n'}.$$

Par suite, si l'on veut que l'ouverture du secteur $YyaA$ permette l'impression de la plaque pendant un temps égal à $\frac{1}{16}$ de la durée d'un tour, il faudra que la dimension $\frac{1}{n}$ de cette ouverture satisfasse à la condition :

$$\frac{1}{n} + \frac{1}{n'} = \frac{1}{16}$$

d'où :

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{16} - \frac{1}{n'}$$

Il faudra donc, en somme, que la dimension $\frac{1}{n}$ de l'ouverture soit égale à la dimension $\frac{1}{16}$ du secteur $YgaA$ diminuée du diamètre $\frac{1}{n'}$ de l'objectif. Il suffira, par suite, de mener à l'intérieur du secteur $YgaA$ des droites parallèles respectivement aux droites gY et aA et à une distance de ces dernières droites égale au rayon de l'ouverture de l'objectif. Cette condition remplie, la plaque sensible recevra de la lumière exactement pendant toute la durée du passage du secteur YoA devant l'objectif, bien que l'ouverture ait des dimensions moindres que celles de ce secteur.

C'est cette ouverture qui donnera sur la plaque une impression maxima.

L'impression minima qui doit succéder à la précédente et correspondre au passage devant l'objectif du secteur suivant AoB est obtenue grâce à quatre fentes étroites dont ce secteur est percé et dont les distances sont d'ailleurs telles que l'une au moins d'entre elles se trouve toujours devant l'objectif.

Il est avantageux, pour l'examen ultérieur des clichés, que l'impression correspondant au passage du secteur BoC soit intermédiaire, comme intensité, aux intensités des passages des deux secteurs précédents. Pour obtenir ce résultat, il nous a suffi de percer le secteur BoC de deux ouvertures assez larges, mais telles que la somme des parties pleines restantes dans ce secteur fût comprise entre la somme des parties analogues des secteurs YoA et AoB .

Le quatrième secteur CoZ a été percé d'ouvertures identiques à celles du secteur AoB.

Les quatre secteurs du quadrant ZoX ont été percés des mêmes ouvertures, se succédant dans le même ordre, que les secteurs du quadrant YoZ; et il en est de même encore des trois premiers secteurs du quadrant XoU et des deux derniers du quadrant UoY. Mais, afin de faciliter, sur les clichés, la numération du nombre de tours complets du disque entre deux points éloignés de la trajectoire, nous avons ménagé, dans le grand secteur DoE égal à $\frac{3}{16}$ du dis-

que, une très large ouverture qui donnera sur la plaque sensible une impression plus intense encore que celle qui correspond au passage devant l'objectif d'un secteur tel que YoA; les parties pleines de ce secteur ont d'ailleurs des dimensions telles que leur passage obture complètement l'objectif, ce qui rend encore plus facilement reconnaissable sur le cliché l'impression correspondant au secteur DoE.

MESURE DE LA VITESSE DU DISQUE. — Cette mesure est d'une extrême importance pour l'interprétation du cliché. D'autre part, comme le moteur qui entraîne le disque est actionné, dans notre installation, par le courant de la ville, c'est à-dire par un courant non absolument constant, cette mesure de la vitesse du disque ne peut être effectuée une fois pour toutes, mais doit être réalisée, au contraire, au moment même de l'expérience. Nous avons employé à cet effet la méthode stroboscopique.

En vue de l'emploi de cette méthode, nous avons muni le disque obturateur (*fig. 4*) de quatre ouvertures symétriquement disposées et percées plus près du centre que celles dont il a été question dans le paragraphe précédent. En avant du disque, nous avons, en outre, disposé un diapason

de Kœnig dont les vibrations sont entretenues électriquement et auquel, grâce à un dispositif connu, on peut à volonté faire effectuer un nombre de vibrations variable de 64 à 78 par seconde. Dès lors, si un observateur regarde à travers les ouvertures dont il vient d'être question et s'il réalise, par les moyens que nous indiquerons ci-dessous, l'immobilité des branches du diapason ainsi vues, le nombre actuel de vibrations de celui-ci sera égal à 4 fois le nombre x de tours du disque par seconde ou à un multiple de $4x$.

Pour supprimer cette incertitude et établir la relation exacte existant entre le nombre N des vibrations et le nombre x des tours du disque par seconde, il est commode de déterminer approximativement et une fois pour toutes ce nombre x . A cet effet, nous avons disposé en avant de l'objectif photographique un lourd pendule battant exactement la seconde et muni à son extrémité oscillante d'une petite lampe électrique; d'autre part, au moyen d'un poids suspendu à un fil passant sur deux poulies et fixé à la planchette de l'objectif, nous avons réalisé un déplacement vertical de celui-ci. Les choses ainsi disposées, le disque obturateur et le pendule sont mis en mouvement; on laisse le poids entraîner l'objectif et l'on photographie le mouvement pendulaire, ce qui donne sur le cliché une trajectoire ayant la forme d'une sinusoïde.

Quelle que soit la régularité plus ou moins grande de cette trajectoire, les points de cette courbe qui correspondent à deux ordonnées maxima consécutives et de même sens limitent une oscillation complète du pendule et par conséquent un temps égal à une seconde. Il est dès lors facile, au moyen des impressions plus ou moins intenses échelonnées le long de la trajectoire entre les deux points d'ordonnées maxima, de déterminer le nombre de tours par

seconde effectués par le disque. Ce nombre a toujours été d'environ 18; il ne s'est jamais abaissé au-dessous de 17 ni élevé au-dessus de 19. Il est donc resté constant à deux unités près. Si l'on rapproche ce nombre de ceux qui indiquent entre quelles limites peut varier le nombre de vibrations par seconde du diapason, on est en droit de conclure que, lorsque l'observateur verra immobiles les branches du diapason vues à travers les ouvertures symétriques du disque, le nombre de vibrations par seconde du diapason sera le quadruple du nombre de tours du disque pendant le même temps, et non un multiple de ce quadruple.

Ajoutons d'ailleurs dès maintenant que, pour faciliter l'observation stroboscopique du diapason, il y a intérêt à munir l'extrémité de l'une de ses branches d'un stylet en aluminium dont le poids est négligeable et qui se détache nettement en noir ou en clair sur un fond lumineux ou obscur, suivant qu'il est éclairé par derrière ou par devant.

Cette relation entre N et x étant établie, il est facile de prévoir l'aspect qu'offrira le diapason observé à travers les fentes du disque, suivant que N sera égal à $4x$ ou différent de $4x$.

Supposons d'abord que N soit exactement égal à $4x$ (*fig. 6*), et que, la pointe du stylet se déplaçant de A en B quand le diapason vibre, cette pointe soit en O , milieu de AB , au moment où l'une des fentes arrive en face de l'œil observateur. Puisque N est exactement égal à $4x$, le diapason effectue une vibration simple pendant chaque quart de tour du disque; par suite, lorsque la fente suivante arrive au niveau de l'œil observateur, la pointe du stylet aura parcouru le chemin $OA + AO$ égal à une vibration simple et apparaîtra dans la même position O que précédemment. Il en sera de même pour chacun des instants où la pointe du stylet devient visible, et celle-ci paraîtra donc immobile.

L'aspect sera un peu différent si, au moment où une fente du disque passe devant l'œil observateur, la pointe du stylet occupe une position quelconque C entre les positions



FIG. 6.

extrêmes A et B. Dans ce cas, en effet, au moment du passage de la fente suivante, c'est-à-dire après un quart de tour du disque, le diapason ayant effectué une vibration simple, la pointe du stylet apparaîtra dans une position C' symétrique de C par rapport à O. Cette même pointe réoccupera sa position première C après un nouveau quart de tour et ainsi de suite. En résumé, l'observateur verra deux stylets, l'un et l'autre immobiles et plus ou moins distants.

En somme donc, ce qui caractérise, au point de vue stroboscopique, la relation $N = 4x$, c'est que le stylet, dont le diapason est muni, apparaît immobile à l'observateur, ce stylet pouvant d'ailleurs être vu simple ou double, suivant le hasard des expériences.

Il en sera tout autrement si N est, par exemple, un peu

supérieur à $4x$, c'est-à-dire si la durée d'une vibration simple est un peu supérieure au quart de la durée de la rotation du disque.

Soit C, en effet, la position dans laquelle apparaît le stylet au moment du passage d'une fente du disque devant l'œil observateur. Lorsque la fente suivante sera arrivée à ce même niveau, le diapason aura effectué un peu plus d'une vibration simple, le stylet aura dépassé la position C' et occupera, en ce moment, la position n où le verra l'observateur. Après un nouveau quart de tour du disque, le stylet occupera la position m au delà du point n , symétrique de n par rapport à O et ainsi de suite. En résumé, non seulement le stylet sera dans ce cas vu double, mais chacune des deux positions dans lesquelles le verra l'observateur se déplacera, et l'aspect sera celui qu'offriront des branches de ciseaux qui se rapprocheraient ou s'éloigneraient l'une de l'autre avec une vitesse d'autant plus grande que N sera plus différent de $4x$.

Ces particularités connues, pour déterminer d'une manière rigoureuse, au moment d'une expérience, la vitesse de rotation du disque obturateur, il suffira de régler le courant qui actionne le moteur de ce disque de manière à réaliser l'immobilité du stylet du diapason mû électriquement. Le nombre x de tours que le disque effectue par seconde est alors égal au quart du nombre de vibrations simples effectuées par le diapason pendant le même temps. Ce réglage du courant est, d'ailleurs, très facilement réalisé au moyen d'un rhéostat à fil placé sur le circuit à portée de l'observateur.

Pour opérer ce réglage, on lance tout le courant dans la petite dynamo qui fait mouvoir l'obturateur et l'on avance ou l'on recule les curseurs le long des branches du diapason, jusqu'à ce que le mouvement de la petite lame triangulaire d'aluminium fixée à l'une des branches du diapason, et qui

paraît se dédoubler, donne l'aspect d'une paire de ciseaux dont les lames se rapprocheraient, puis s'écarteraient lentement. On peut s'arrêter quand les lames paraissent se recouvrir deux fois par seconde environ. A ce moment, la vitesse du disque d'aluminium peut être ou trop grande ou trop petite. Il suffit de toucher légèrement l'obturateur avec le doigt, de façon à faire frein, on verra, dans le premier cas, les deux lames d'aluminium s'immobiliser, et dans le second, leur mouvement s'accélérer.

Dans ce dernier cas, on diminuerait de quelques unités le nombre de vibrations simples du diapason, de façon à se placer dans les conditions que nous avons exposées.

Les choses étant ainsi disposées, nous sommes sûr d'avoir dans notre dynamo un léger excès de courant que nous pourrions réduire à volonté, grâce au rhéostat de 50 ohms placé dans le circuit. L'aide règle la manette de façon à immobiliser les lames d'aluminium et maintient cette immobilité pendant toute la durée de l'expérience.

MARTEAU INTERRUPTEUR. — Le marteau destiné à provoquer le réflexe rotulien a été disposé de telle sorte qu'au moment même du choc un circuit électrique se ferme et actionne un signal lumineux que nous décrirons dans le paragraphe suivant.

A cet effet, le marteau, qui a la forme indiquée par la figure 7, est réuni à l'un des pôles du courant et muni en P d'une lame de plomb de 3 millimètres d'épaisseur. Sur une partie saillante du manche est clouée une lame de cuir L à laquelle est fixé, d'un côté, un bouchon en caoutchouc B destiné à la percussion du tendon, de l'autre, une pointe métallique réunie à l'autre pôle du courant. Ces diverses parties du marteau doivent, d'ailleurs, avoir des dimensions telles que, par suite de l'élasticité de la lame de cuir, la pointe O appuie contre la lame de plomb avec une certaine force, in-

suffisante d'ailleurs pour percer une feuille de papier F intercalée entre la lame de plomb et la pointe.

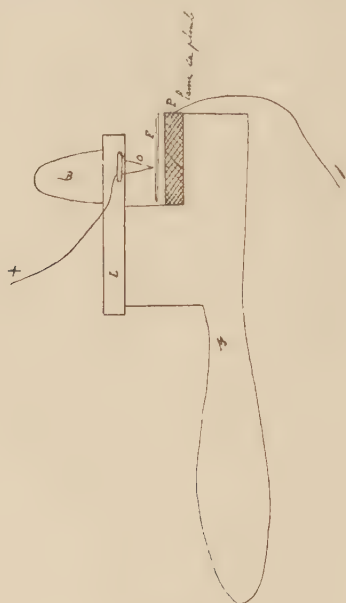


FIG. 7.

Les choses ainsi disposées, au moment du choc du marteau contre le tendon, la pointe O traverse le papier et pénètre dans la lame de plomb, où elle reste implantée, et le circuit est fermé.

Pour interrompre le courant, nous faisons usage d'un interrupteur à manette placé à portée de l'observateur, et c'est seulement après avoir ainsi coupé le circuit que nous soulevons la lame de cuir pour libérer la pointe et remettre le marteau dans son état primitif. Si l'on réalisait directement l'interruption du courant en soulevant la lame de cuir, l'étincelle de rupture qui jaillirait entre la pointe O et la lame de plomb P mettrait rapidement la pointe hors d'usage.

Nous nous proposons, en vue de recherches ultérieures, de modifier ce marteau interrupteur de telle sorte que l'in-

tensité du choc soit toujours égale à elle-même ou que l'on puisse la graduer à volonté.

INSCRIPTION DU MOMENT OU SE PRODUIT LE CHOC CONTRE LE TENDON ROTULIEN. — Cette partie de notre dispositif, qui consiste à inscrire les étincelles d'une bobine réunie à un interrupteur Wehnelt est, croyons nous, absolument nouvelle. Nous n'avons songé d'ailleurs à déterminer par ce moyen le moment du choc qu'après avoir essayé et rejeté comme insuffisants divers procédés.

C'est ainsi que nous avons d'abord actionné, par le courant qui traverse le marteau, un électro aimant qui attirait une pièce en fer doux portant un écran en papier et qui démasquait une source lumineuse : mais le temps perdu dans le mouvement de l'écran était supérieur au temps perdu à déterminer, et la sensibilité de ce procédé était donc insuffisante.

Nous avons dû, pour la même raison, renoncer à faire usage d'une lampe à incandescence, disposée sur le trajet du courant et qui s'allumait au moment du choc. Le temps, en effet, que met la lampe à s'allumer est trop considérable pour pouvoir donner ici des indications précises.

L'inertie du marteau d'un trembleur de Neeff donne encore naissance à un temps perdu trop considérable pour que la photographie de l'étincelle d'une bobine munie d'un tel trembleur pût fournir des indications suffisamment précises.

L'interrupteur Wehnelt, au contraire, n'est pas passible de semblables objections. On peut avec cet interrupteur, en choisissant convenablement le diamètre de la pointe de platine, obtenir facilement 1000 interruptions par seconde. Sans entrer ici dans la théorie de l'appareil, il est raisonnable d'admettre que l'intervalle qui sépare deux interruptions consécutives est alors de $\frac{1}{1000}$ de seconde et que le temps qui

s'écoule entre le moment où le circuit est fermé et celui où éclate la première étincelle à la même durée. Le moment précis du choc doit donc pouvoir être ainsi déterminé avec une approximation d'autant plus grande que la pointe de platine aura été choisie de manière à donner naissance à un plus grand nombre d'interruptions par seconde.

Il était toutefois nécessaire de vérifier par l'expérience l'exactitude de ces prévisions. C'est ce que nous avons fait dans un autre travail¹.

RÉGLAGE DE L'ÉTINCELLE. — L'objectif et la plaque photographique étant fixes, pour pouvoir inscrire le temps au moyen des étincelles d'une bobine d'induction, munie d'un interrupteur Wehnelt, il fallait rendre mobiles les extrémités des fils entre lesquels les étincelles doivent éclater.

A cet effet, nous avons utilisé le mouvement d'horlogerie



FIG. 8.

¹ Aspect des étincelles données avec un interrupteur Wehnelt par le secondaire d'une bobine à la fermeture et à l'ouverture du courant primaire (*C. R. Ac. des Sc.*, 29 février 1904.) — Marche du Wehnelt (*Arch. d'élect. médicale*, 10 avril 1904.)

d'un cylindre enregistreur de Marey. L'axe correspondant à la plus grande vitesse a été prolongé par un cylindre en ébonite perpendiculairement auquel une règle a été fixée par son milieu (*fig. 8*.) Cette règle est munie, à l'une de ses extrémités, d'une petite lampe électrique L, tandis qu'en A et B, plus près du milieu C, se trouvent les extrémités des fils entre lesquelles doivent éclater les étincelles de la bobine munie de l'interrupteur Wehnelt. Les fils qui se terminent en A et B, de même que ceux qui amènent le courant à la lampe L, courent le long de la règle et sont chacun en communication avec un anneau métallique fixé sur le cylindre d'ébonite ajouté à l'axe du mouvement d'horlogerie. Sur les quatre anneaux métalliques s'appuient autant de ressorts métalliques destinés à réaliser des contacts tournants et réunis, ceux qui correspondent à A et B, aux deux bornes de la bobine, ceux qui correspondent à la lampe L, au générateur d'électricité.

En réalisant ce dispositif, nous pensions utiliser l'étincelle pour marquer l'instant précis du choc, et la lampe pour inscrire le temps grâce au disque obturateur rotatif.

L'examen des clichés obtenus montre que l'inscription photographique de l'étincelle constitue un excellent moyen pour marquer sur le cliché le début du phénomène ; la première étincelle donne toujours, en effet, une impression intense sur la plaque, tandis que, parmi les suivantes, quelques-unes seulement, plus ou moins éloignées entre elles, sont encore visibles. Cette absence de régularité d'impression de l'étincelle ne permettait pas d'obtenir le résultat désiré. Pour pouvoir, en effet, compter le temps, puisque la lampe à incandescence met un certain temps pour acquérir une intensité lumineuse capable d'impressionner la plaque, il était nécessaire que, le long des arcs de cercle concentriques sur lesquels s'échelonnaient les images de l'étincelle et

de la lampe, il fût possible de reconnaître des images sûrement correspondantes dans le temps. Or, l'inscription photographique des étincelles était trop irrégulière pour que cette correspondance pût être établie.

Pour obvier à ce double inconvénient, il fallait supprimer la lampe et obtenir de l'étincelle seule toutes les indications nécessaires, ce qui a nécessité l'étude expérimentale de l'influence que diverses circonstances exercent sur la régularité et la valeur photogénique de l'étincelle.

Une première amélioration a été obtenue en augmentant de quelques millimètres jusqu'à quelques centimètres la distance des fils entre lesquels l'étincelle devait éclater. L'image entière de quelques étincelles était ainsi retrouvée sur le cliché, mais les étincelles intermédiaires n'étaient qu'irrégulièrement inscrites et par leurs extrémités seulement.

Comme les étincelles, par suite de la rotation de la règle, sont en réalité soufflées, on pouvait se demander si l'intensité du soufflage dépendant de la vitesse de rotation de la règle, ne pourrait pas avoir une influence. Cette prévision a été confirmée par l'expérience, et nous avons pu obtenir, par une vitesse de rotation suffisante, une impression photographique très nette de chacune des étincelles. Malheureusement, pour arriver à ce résultat, il faut une vitesse de rotation telle que la durée d'un tour complet de la règle devient inférieure au temps pendant lequel l'objectif doit rester découvert au moment de l'observation d'un réflexe, si bien que les images des étincelles se mélangent alors, et que le cliché devient par ce fait inintelligible.

Nous avons cherché alors à supprimer entièrement le soufflage; à cet effet, au lieu de faire éclater l'étincelle à l'intérieur d'un tube, dont les parois auraient donné des images par réflexion, nous avons simplement disposé en

avant des pointes une petite plaque d'ébonite. Dans ces conditions, la première étincelle est toujours très nettement inscrite; les étincelles suivantes, il est vrai, ne sont guère marquées que par leurs extrémités, mais celles-ci sont du moins toutes visibles et peuvent être assez facilement comptées.

Nous avons, d'ailleurs, trouvé commode, pour l'étude du cliché au point de vue du temps, de pratiquer une coupure de quelques millimètres à l'un des fils fixés à la règle, de manière à obtenir, plus près de l'axe de rotation, une deuxième étincelle destinée à jouer le rôle que nous avons assigné d'abord à la lampe à incandescence.

Notre dispositif, par la suppression de cette lampe devenue inutile, est de beaucoup simplifié.

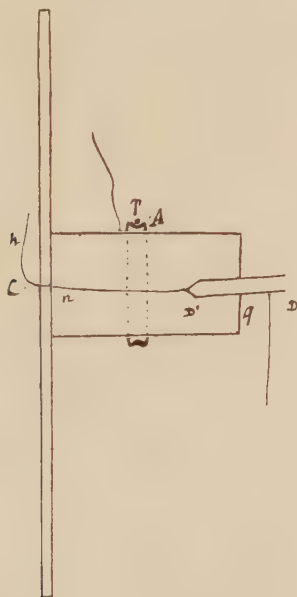


FIG. 9.

Le centre C de la règle (*fig. 9*) est fixé à un cylindre d'ébonite Q de 15 centimètres de longueur réuni à l'axe DD' qui

correspond à la plus grande vitesse du mouvement d'horlogerie du cylindre de Marey. Cet axe DD' communique avec l'un des fils du secondaire; une tige en cuivre CD' suit l'axe

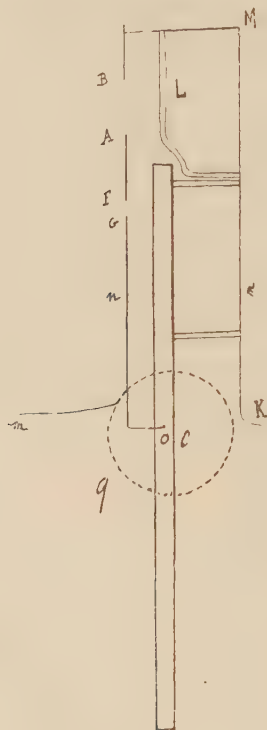


FIG. 10.

du cylindre d'ébonite, sort en C, milieu de la règle, et aboutit au fil N (*fig. 10.*)

D'un autre côté, un anneau en cuivre A est fixé au milieu du cylindre d'ébonite (*fig. 9*) Il est creusé d'une gorge qui reçoit une tige en cuivre frottant sur cet anneau. Cette tige, représentée en projection par un point T sur la figure, communique avec l'autre fil du secondaire de la bobine. A l'anneau est fixé le fil *m* (*fig. 9 et 10*) qui conduit le courant en B.

Dès lors, l'étincelle éclate entre les pointes A et B à une

distance moyenne de 33 centimètres de l'axe. Les pointes A et B sont réglables à volonté au moyen de deux petites vis qui fixent des tiges mobiles à l'écartement voulu et que l'on peut changer à volonté suivant l'usure.

Pour empêcher l'étincelle d'être soufflée, nous plaçons en L (*fig. 10*), une petite lame d'ébonite de deux centimètres de large, ce qui est parfaitement suffisant.

Pour simplifier la lecture, nous avons pratiqué une petite coupure du fil *n* en FG (*fig. 10*) au moyen de deux tiges que nous rapprochons à une distance de deux ou trois millimètres l'une de l'autre. Les étincelles éclatant entre ces deux pointes donnent un arc de cercle en pointillé noir sur le cliché (*fig. 13*). Ces points sont donnés par les étincelles, et nous verrons, par la suite, l'importance de cette courbe dans la détermination du temps perdu.

En résumé, l'étincelle qui éclate entre les deux pointes A et B n'a d'autre rôle que de rendre le phénomène plus régulier et de contrôler les indications données par les courbes précédentes dans les cas difficiles.

On photographie donc uniquement ainsi des étincelles, c'est-à-dire un phénomène lumineux intermittent. Or, l'inscription photographique se fait, avons-nous dit plus haut, à travers un disque tournant percé d'ouvertures, et l'on peut se demander si cette double intermittence ne supprimera pas quelques images qui auraient été nécessaires pour l'interprétation des clichés. Mais nous avons dit que, pour plus de trois des quadrants du disque, les ouvertures ont des dimensions et des positions telles que, pendant le passage devant l'objectif des secteurs successifs en lesquels le disque a été divisé, l'objectif n'est jamais complètement caché. Il n'y a d'exception que pour les pleins qui encadrent la plus grande des ouvertures.

L'aspect de ceux-ci, en ce qui concerne les images des dou-

bles étincelles, est celui de la figure 13. L'arc de cercle intérieur est relatif à la petite étincelle, et c'est sur lui que l'on comptera le plus facilement le nombre de tours effectués par le disque obturateur. L'arc extérieur, qui est dû à l'étincelle principale, sert plus spécialement à marquer l'origine du phénomène, c'est-à-dire l'instant du choc sur le tendon rotulien, car la première étincelle y est toujours très nettement marquée.

III

Technique opératoire

MARCHE DE L'EXPÉRIENCE. — Le malade est placé sur le tabouret décrit plus haut et l'on fixe à l'extrémité du pied et au talon deux très petites lampes à incandescence. La lampe du talon n'est pas indispensable pour la recherche du temps perdu, mais elle peut être cependant de quelque utilité en fournissant le moyen de contrôler les indications de la première. Le courant qui passe dans ces deux lampes est fourni par le secteur de la ville et réglé de la façon suivante : deux lampes de 110 volts sont branchées en dérivation, et sur le fil de retour commun sont placées les deux lampes minuscules. On peut choisir pour les premières, des lampes de 5, 10, 16, 32.... bougies et les combiner entre elles de façon à obtenir, avec les lampes minuscules, un éclairage approprié qui donne sur la plaque une impression d'intensité sensiblement égale à celle obtenue avec les points lumineux correspondant aux extrémités des étincelles de la bobine.

Nous nous sommes servi d'une lampe de 10 et d'une lampe de 16 bougies qui suffisent pour les lampes minuscules dont nous avons fait usage.

Avant de provoquer le réflexe rotulien, on lance le courant dans ces dernières et l'on met en marche le mouvement d'horlogerie qui entraîne la règle à l'une des extrémités de laquelle éclateront les étincelles.

Cela fait, un aide muni du marteau interrupteur s'apprête

à produire le choc sur le tendon rotulien, le genou de la personne examinée étant préalablement mis à nu.

L'opérateur qui manie l'obturateur Thornton-Pickard placé à l'avant de l'objectif, suit les mouvements de cet aide ; il démasque l'objectif un court instant avant que le marteau vienne frapper le genou et referme presque aussitôt l'obturateur, si le cliché doit être étudié au point de vue du temps perdu, afin d'empêcher l'impression sur la plaque des divers arcs de la trajectoire dont les projections se superposeraient en partie.

À ce moment, l'expérience est terminée ; sa durée totale ne dépasse pas une seconde.

Il est important de ne démasquer l'objectif que très peu de temps avant le choc, car les lampes minuscules formeraient sur la plaque un halo qui rendrait toute détermination impossible.

Il est également prudent, avant de commencer toute détermination, de photographier les mêmes lampes encore immobiles dans une position voisine de celles qu'elles occuperont lors de l'expérience définitive. Il suffit, pour cela, de découvrir d'abord l'objectif pendant un temps très court, puis de déplacer légèrement la planchette qui supporte cet objectif avant de procéder à l'inscription photographique du mouvement. Il se produit, en effet, des réflexions sur les parois des ampoules, et à chaque lampe correspondent, de ce fait sur le cliché, des images multiples, qui se mélangent à celles de ces mêmes lampes en mouvement et dont il faut pouvoir les distinguer. La comparaison des images qui correspondent à l'immobilité des lampes avec celles de la région où le mouvement a débuté, rend facile cette distinction.

Il est bon de signaler dès maintenant le fait suivant qui ne peut apporter aucune erreur dans les détermina-

tions relatives au temps perdu initial, mais qui devrait être pris en considération si l'on voulait poursuivre l'étude du mouvement du pied pendant un certain temps. Dans notre dispositif, c'est le seul courant de la ville, que, au moyen de dérivation, nous utilisons pour actionner le moteur du disque rotatif, la bobine et les lampes fixées au pied du sujet. Or, d'après ce que nous avons dit plus haut, ce courant est d'abord utilisé uniquement pour mettre le disque en mouvement et en régler convenablement la vitesse. Par suite, lorsqu'est produit le choc sur le tendon rotulien et qu'une partie du courant est ainsi dérivée dans la bobine et dans la lampe, la vitesse de rotation du disque doit subir une diminution. Mais cette variation ne devient sensible que plus d'une seconde après la production du choc, et comme il suffit, pour l'étude du temps perdu, que la vitesse demeure constante pendant moins de $\frac{1}{100}$ de seconde, on voit que le fait dont il est actuellement question n'infirmes en rien les résultats relatifs à cette période du mouvement réflexe.

IV

Interprétation des résultats obtenus

Quand le cliché est lavé et séché, il faut l'interpréter. L'emploi d'une loupe est indispensable pour observer les fins détails qui échapperaient à l'œil nu, et il est bon de se servir d'un pupitre à retouche pour l'examen du cliché.

Sur ce dernier, nous avons à examiner les trois projections de la courbe décrite par la lampe fixée à la pointe du pied et des courbes décrites par les deux séries d'étincelles qui jaillissent entre les pointes fixées sur la règle entraînée par le mouvement d'horlogerie. Il est bon de rappeler que, par suite du dispositif particulier adopté, ces dernières courbes sont des arcs de cercle concentriques ; l'une, l'intérieure, est donnée par les étincelles qui éclatent entre deux pointes très rapprochées ; l'autre, l'extérieure, se rapporte aux étincelles qui jaillissent entre les deux pointes éloignées de 3 ou 4 centimètres.

Pour plus de simplicité, nous désignerons le premier de ces arcs de cercle par la lettre *I*, et le deuxième par la lettre *E*.

L'étude du cliché peut se diviser en trois parties : la première comprend l'étude des parties communes à la courbe *I* et aux courbes projections ; les deuxième et troisième comprennent l'étude spéciale de chacune de ces courbes près de leur origine.

1^o PARTIE COMMUNE AUX DIVERSES COURBES. — Pour la

commodité de l'exposition, nous avons représenté schématiquement (*fig. 11*) la courbe $\dot{I}$ et l'une des projections de la courbe décrite par la lampe L fixée à la pointe du pied.

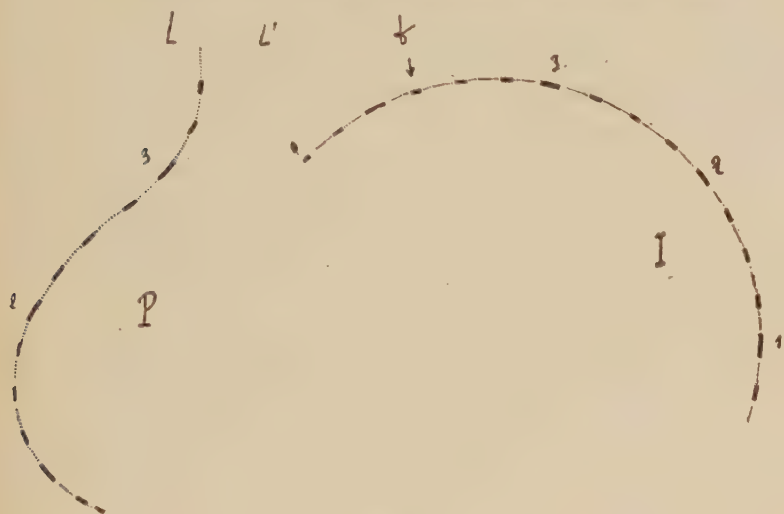


FIG. 11.

Il est de toute évidence que chaque fois que l'objectif est démasqué par l'obturateur, nous avons un trait plus ou moins noir sur chacune des courbes dessinées sur le cliché. Ce trait a donc été obtenu dans le même temps et, dès lors, il est facile de reconnaître les parties des courbes $\dot{I}$ et P qui ont été impressionnées au même instant. Ces parties, correspondantes dans le temps des courbes P et $\dot{I}$, ne peuvent cependant être déterminées directement à partir du début du mouvement à cause du temps perdu ; par contre, on est toujours sûr que le dernier trait, dans chaque courbe, correspond au même instant. C'est donc du dernier trait de chaque courbe qu'il faut partir pour compter le temps.

Pratiquement, il vaut mieux chercher le trait le plus long et le plus noir parmi les derniers, celui que nous avons numéroté 1 sur chacune des courbes de la figure 11, trait

qu'il est très facile de reconnaître. En remontant vers l'origine, on retrouve en 2 le même trait décrit au moment où la plus grande ouverture du disque repassait devant l'objectif. De 1 à 2, il s'est donc écoulé un temps égal à celui que met le disque pour faire une rotation complète. Si le disque fait 18 tours à la seconde, comme dans nos expériences, ce temps est égal à 0^s055.

En 3 se retrouve encore, et sur la courbe P et sur la courbe $\dot{I}$, le même trait intense qui limite de nouveau une rotation complète du disque. Mais du numéro 3 à l'origine L, nous n'avons plus sur la courbe P que de petits traits tandis qu'un trait intense existe encore sur la courbe $\dot{I}$.

Il résulte de là que la courbe $\dot{I}$ a commencé à être décrite avant la courbe P. On reconnaît d'ailleurs sur la figure que le début de la courbe P correspond sur la courbe $\dot{I}$ au trait en face duquel se trouve une flèche. Le temps perdu est donc mesuré par l'arc *of* de la courbe $\dot{I}$.

Avant d'aller plus loin, il est utile de dire comment nous avons numéroté les divers traits que donne une révolution complète de l'obturateur.



FIG. 12

Si O est l'origine du mouvement (*fig.* 12) et que le point lumineux décrive la droite OA, nous aurons des traits qui se présenteront dans l'ordre indiqué sur la figure. Les points A et B, extrémités de deux grands traits intenses, limiteront une révolution complète du disque. Comme nous comptons le temps de la fin du mouvement vers l'origine, nous donnons au grand trait qui précède le point A le numéro 0; trois autres traits, moins noirs et moins larges que les pré-

cédents, qui s'échelonnent de A à B seront désignés par les chiffres romains.

I, II, III

Mais entre le trait 0 et le trait I, nous avons trois autres intervalles, l'un à impression nulle, les deux autres à impression faible que nous désignons par

(0) a (I) , (0) b (I) , (0) c (I);

nous désignerons de même par

(I) a (II) , (I) b (II) , (I) c (II)

les trois intervalles compris entre I et II, et par

(II) a (III) , (II) b (III) , (II) c (III)

les trois intervalles compris entre II et III et ainsi de suite

En examinant la courbe P, on voit que le mouvement de la lampe a commencé au trait III.

L'examen de la courbe I nous montre, d'autre part, que le choc a eu lieu dans une rotation précédente, à un instant correspondant au trait II.

En ne comptant ni le trait II ni le trait III, nous pouvons déjà dire que, entre le choc et le moment où le mouvement de la lampe a commencé, 11 traits se sont dessinés sur la courbe I, ce qui veut dire que le disque a fait les $\frac{11}{16}$ d'un tour complet. Nous désignerons par T ce nombre.

En admettant que le disque fasse 18 tours comme dans nos expériences, nous aurions déjà un temps perdu de 0^s,037.

Mais cette détermination n'est pas complète; il nous reste à examiner ce qui se passe à l'origine des deux courbes.

2° EXAMEN PARTICULIER DE L'ORIGINE DE LA COURBE P. — Pour déterminer le début du mouvement de la lampe, il faut avec une bonne loupe examiner attentivement l'origine de la courbe P. Il ne faut d'ailleurs pas se contenter d'examiner une seule des projections de la courbe vraie décrite par la lampe, mais les trois courbes obtenues. Ce n'est qu'après avoir comparé attentivement celles-ci que l'on peut se prononcer : il peut arriver, en effet, que, dans l'une des projections, le mouvement, au début, soit perpendiculaire à l'un des plans de projection, auquel cas un certain nombre d'images successives se confondent, si bien que le début du mouvement ne peut être déterminé par l'examen de cette projection. Mais si le mouvement a lieu perpendiculairement à l'un des plans de projection, il aura lieu parallèlement aux deux autres, et les courbes correspondantes à ceux-ci présenteront le maximum de netteté pour la détermination du temps perdu.

DEGRÉ D'EXACTITUDE DE LA DÉTERMINATION DU DÉBUT DU MOUVEMENT RÉFLEXE. — Ce degré d'exactitude dépend de l'étendue de l'intervalle du disque obturateur qui passe devant l'objectif au moment du début, car tous les intervalles ne sont pas d'étendue égale. Nous supposons toutefois que le disque a été partagé en 16 secteurs égaux, sauf à étudier ensuite l'influence de l'inégalité de certains d'entre eux.

Nous avons dit plus haut que, avec notre dispositif et le courant du secteur employé, le disque obturateur faisait 18 tours par seconde, ce qui correspond à une durée de rotation de $\frac{1}{18} = 0^s,05555\dots$

Mais la constance du courant n'est pas absolue et le nombre de tours subit quelques variations de part et d'autre de 18. Cherchons quelles variations extrêmes en plus et en

moins peut subir ce nombre de 18, pour que le chiffre des millièmes de la durée 0,05555... d'une rotation ne soit pas altéré

Supposons d'abord une augmentation de la vitesse de rotation du disque, auquel cas la durée de chaque rotation sera diminuée d'une quantité ε .

Pour que le chiffre des millièmes du nombre 0,05555... ne soit pas modifié lorsqu'on retranchera ε , il est d'abord nécessaire que le premier chiffre significatif de ce nombre ε soit de l'ordre des dix-millièmes ou d'un ordre supérieur. En outre, ce premier chiffre significatif doit être inférieur, ou tout au plus égal au chiffre des dix-millièmes du nombre 0,05555..., c'est-à-dire tout au plus égal à 5.

Par suite, pour que le chiffre des millièmes de la durée primitive d'une révolution du disque obturateur ne soit pas altéré, il faut que la diminution de durée de cette rotation soit tout au plus égale à 0,0005555...

Pour savoir à quelle augmentation n du nombre de tours par seconde correspond cette diminution de 0,0005555 de la durée d'une rotation, il suffit alors de résoudre, par rapport à n , l'inégalité :

$$\frac{1}{18} - \frac{1}{18 + n} < 0,000555...$$

d'où l'on tire :

$$n < \frac{9}{55} \text{ ou sensiblement } < \frac{1}{6}$$

En conséquence, le chiffre des millièmes de la durée d'une rotation du disque obturateur ne sera pas altéré par une augmentation de vitesse du disque, si cette augmentation de vitesse ne dépasse pas $\frac{1}{6}$ de tour environ par seconde.

Par un raisonnement analogue, on verrait de même que,

pour qu'une augmentation ε de la durée primitive de 0,05555... de la rotation n'altère pas le chiffre des millièmes de cette durée, il faut que cette augmentation ε soit tout au plus égale à 0,000444..... La diminution correspondante n du nombre de tours que le disque devra effectuer par seconde sera par suite donnée par l'inégalité :

$$\frac{1}{18 - n} - \frac{1}{18} < 0,00044.....$$

d'où l'on tire pour n la valeur $\frac{1}{7}$ environ. En conséquence, aussi longtemps que le nombre de tours du disque n'augmente pas de plus de $\frac{1}{7}$ de tour environ par seconde, la durée d'une rotation de ce disque est égale à 0^s,055 à moins d'un millième de seconde près.

En tenant compte simultanément des deux résultats que nous venons d'établir, nous pouvons donc affirmer que le chiffre des millièmes du nombre qui exprime la durée d'une rotation du disque sera exact, si, pendant l'observation, nous pouvons, avec notre dispositif, maintenir constante la vitesse de rotation de ce disque à moins de $\frac{1}{7}$ de tour près. Il en sera ainsi à plus forte raison, si nous l'obtenons à $\frac{1}{8}$ de tour près.

Or, nous avons vu plus haut que le disque fait $\frac{1}{4}$ de tour pendant que le diapason effectue une vibration simple. D'autre part, la lame d'aluminium fixée sur une des branches du diapason paraît en général dédoublée quand on la regarde à travers les ouvertures du disque pendant la marche; en outre, chacune des deux lames ainsi vues paraît immobile si la durée de $\frac{1}{4}$ de tour du disque est exactement égale à celle d'une vibration simple, tandis que ces mêmes

lames se rapprocheront, se confondront, puis se sépareront de nouveau ou inversement si cette égalité n'existe pas.

En se rapportant à ce que nous avons dit plus haut à ce sujet, il est facile de démontrer que le temps qui s'écoule, entre deux superpositions successives des deux lames vues, est égal à une seconde si le disque fait, pendant ce temps, un nombre de quarts de tours supérieur de 1 au nombre des vibrations simples du diapason. De même, pour $\frac{1}{8}$ de tour en plus ou en moins, le temps qui s'écoule entre deux coïncidences successives des lames dédoublées est égal à deux secondes.

Mais l'expérience nous a prouvé que, avec notre dispositif, on peut réaliser une immobilité presque complète des lames pendant un temps très supérieur à 2 secondes.

Nous sommes donc bien autorisé à regarder le nombre exprimant la durée de la rotation du disque, et calculé d'après le nombre de vibrations simples du diapason au moment d'une expérience, comme exact à moins de $\frac{1}{1000}$ de seconde près. En prenant comme exemple le cas où le disque effectue 18 tours par seconde, la durée d'une rotation sera donc 0^s,055 à moins de 0,001 près.

Dès lors, chacune des seize divisions que nous avons représentées schématiquement (*fig. 12*) et qui correspondent aux seize secteurs du disque, sera décrite en

$$0^s,0034 ;$$

en d'autres termes, ce nombre exprime le temps représenté par chacun des petits traits de la figure 11.

Ceci établi, considérons la courbe P; cette courbe nous indique bien que le mouvement a commencé dans l'intervalle III qui représente un temps égal à 0^s,0034, mais il subsiste quelque incertitude, quant à l'instant précis du

début du mouvement, pendant cet intervalle de temps. Ce nombre de $0^s,0034$ est donc une limite supérieure de l'erreur que nous pouvons faire avec les appareils dont nous disposons, et il faudra tenir compte de ce fait dans chacune des déterminations.

Il serait possible toutefois de déterminer le moment du début du mouvement avec une précision plus grande.

Il suffirait pour cela, par exemple, de remplacer la dynamo qui donne 18 tours par une autre capable d'imprimer au disque une plus grande vitesse de rotation. En faisant usage de la dynamo d'un ventilateur de modèle plus grand, nous avons obtenu 25 tours à la seconde, ce qui réduit la limite de l'erreur à

$$0^s,0025.$$

Une autre solution consisterait à augmenter le nombre d'ouvertures du disque; mais ces ouvertures sont alors trop petites et les impressions que nous avons obtenues sur la plaque avec le même objectif sont défectueuses et insuffisantes pour permettre d'arriver à des déterminations sûres.

Il serait préférable d'employer un objectif de foyer plus court, dont le diamètre d'ouverture serait inférieur au diamètre de 20^{mm} de l'objectif dont nous avons fait usage dans nos expériences. Cet objectif pourrait même être plus lumineux que celui dont nous nous sommes servi; il serait dès lors possible d'augmenter le nombre d'ouvertures du disque, et d'abaisser par suite la limite supérieure de l'erreur. Pour que celle-ci ne dépassât pas $0^s,001$, il suffirait, avec l'obturateur faisant 25 tours à la seconde, de percer le disque de 40 ouvertures, ce qui nous paraît très réalisable.

Le seul inconvénient qui résulterait de l'adoption de ces nombres consisterait dans la diminution de grandeur des images, que l'on ne pourrait étudier qu'en les examinant avec une loupe à fort grossissement.

On voit que cette partie de notre technique est perfectible, que la limite supérieure de l'erreur probable peut être notablement abaissée et rendue bien inférieure au nombre $0^s\ 0034$, que nous pouvons atteindre avec notre dispositif actuel.

REMARQUE AU SUJET DES INTERVALLES IIIc, 0, 0a. — Ce que nous venons de dire est exact pour treize des divisions de la figure 12. Mais nous avons dit plus haut que, afin de pouvoir compter facilement les tours complets faits par le disque, nous avons pratiqué une ouverture plus grande que les autres, ouverture qui correspond sur le cliché aux traits les plus longs et les plus intenses.

L'ensemble formé par cette ouverture et les parties pleines entre lesquelles elle est comprise a, d'ailleurs, sur le disque, une étendue égale à celle de trois quelconques des autres secteurs, et le trait, plus long et plus intense, qui correspond sur le cliché à la grande ouverture, représente un temps égal à $0^s,0051$.

Par suite, si le mouvement commence quand la grande ouverture du disque passe devant l'objectif, la limite supérieure de l'erreur dans la détermination du temps perdu s'élève alors à $0^s,0051$. C'est là, en quelque sorte, le point faible de notre obturateur, et il est préférable d'abandonner une détermination faite dans ces conditions; mais ce cas doit se présenter bien rarement, une fois sur 15 ou 16 environ.

Les divisions IIIc, 0a, par contre, représentent un maximum de sensibilité. En effet, chacun de ces intervalles plus petit que les autres, équivaut à un temps de

$$0^s,0025$$

Ce nombre représente donc la limite supérieure de l'erreur probable quand le mouvement du pied, représenté par

la courbe P, débute dans l'un ou l'autre des intervalles IIIc et Oa.

3° ETUDE PARTICULIÈRE DES COURBES E ET I A LEUR ORIGINE.

— En examinant la courbe I (*fig. 11*) que nous considérons comme exemple, on voit immédiatement que son origine est dans l'intervalle II, qui correspond à un temps égal à 0^s,0034. Mais il est possible, comme nous allons le montrer, de préciser avec plus de rigueur encore l'instant auquel a été réalisée la fermeture du circuit.

Entre le moment où le courant est établi et celui où éclate la première étincelle, il s'écoule un certain temps que nous avons mesuré directement au moyen d'expériences que nous avons décrites dans un autre travail ¹.

Voici les résultats obtenus, quant à ce temps, pour cinq pointes de longueur et de diamètre différents essayées dans ce but dans l'interrupteur Wehnelt :

Numéro de la pointe.	Nombre d'étincelles par seconde.	Temps qui separe deux étincelles.	Temps qui s'écoule entre l'établissement du contact et le moment où éclate la première étincelle.	Différences Δ entre les nombres obtenus dans les deux colonnes précédentes.
I	558	0 ^s ,0018	0 ^s ,0028	0 ^s ,001
II	648	0 ^s ,0015	0 ^s ,0022	0 ^s ,0007
III	720	0 ^s ,0014	0 ^s ,0017	0 ^s ,0003
IV	936	0 ^s ,001	0 ^s ,0012	0 ^s ,0002
V	1386	0 ^s ,0007	0 ^s ,0007	< 0 ^s ,0001

¹ *Arch. él. méd.*, 10 avril 1904.

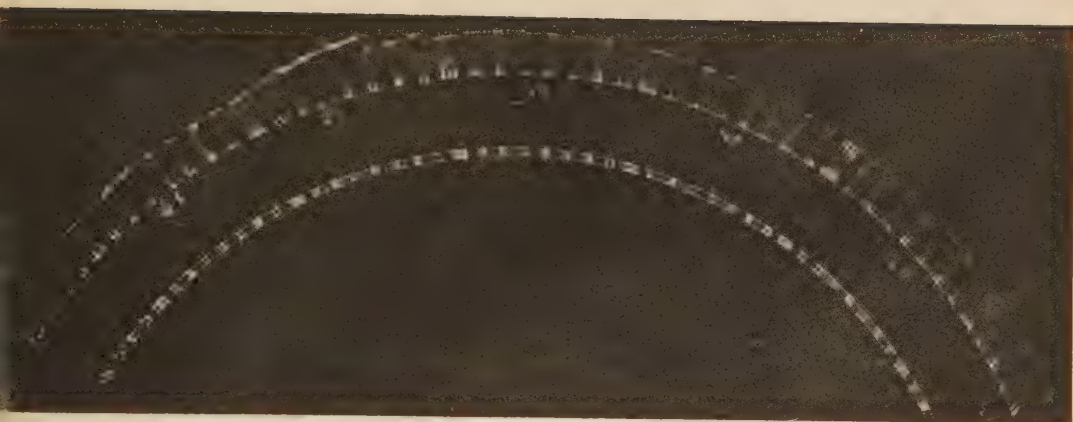


FIG. 13

La comparaison des nombres inscrits dans ce tableau montre que le raisonnement *a priori* fait au début de ce travail, relativement au degré d'exactitude que permettrait d'obtenir, dans les déterminations, l'emploi du trembleur Wehnelt, était sensiblement exact.

En effet, si l'on examine les diverses valeurs de la différence Δ , inscrites dans la dernière colonne du tableau, on voit que cette différence, relativement considérable pour la pointe n° I, puisqu'elle atteint alors 0,001, s'atténue considérablement avec les pointes suivantes, pour devenir de l'ordre des dix-millièmes et des cent millièmes de seconde avec les pointes n°s IV et V.

Si donc, on voulait pouvoir négliger, dans les déterminations, le temps qui s'écoule entre l'instant de l'établissement du courant et celui où éclate la première étincelle les pointes n°s III, IV et V devraient être employées de préférence aux deux premières.

DÉTERMINATION DE L'INSTANT PRÉCIS DU CHOC ROTULIEN. — Grâce aux résultats numériques inscrits dans le tableau précédent, il est maintenant possible de déterminer cet instant avec une grande précision. Nous indiquerons comment on peut procéder à cette détermination, non plus sur des courbes schématiques, mais sur la figure 13 qui est la reproduction des courbes I et E obtenues sur l'un de nos clichés en comptant le temps écoulé depuis le moment précis du choc jusqu'à ce que la grande ouverture passe devant l'objectif. Nous ajouterons d'ailleurs, pour fixer les idées, que les courbes de la figure 13 ont été obtenues avec la pointe N° I du tableau précédent.

La détermination de l'instant précis où s'est produit le choc rotulien, c'est-à-dire, en somme, de l'instant où le cir-

cuit s'est trouvé fermé par suite du choc, peut se faire de plusieurs manières.

a. — On reconnaît immédiatement en A (*fig. 13*) l'un des moments où la grande ouverture du disque obturateur a passé devant l'objectif

On compte sur la courbe $\dot{I}$ le nombre de traces d'étincelles qui existent entre le début D et le point A; on trouve que ce nombre est 23. Mais il existe en a, sur cette courbe $\dot{I}$, un intervalle sans impression qui correspond au passage devant l'objectif de l'un des secteurs pleins qui encadrent la grande ouverture du disque; or, d'après les dimensions de cet intervalle, on peut estimer que deux étincelles ont été supprimées, ce qui conduit à admettre le nombre $23 + 2 = 25$, comme étant celui du nombre des étincelles qui ont éclaté pendant le temps mesuré sur le cliché par la distance DA.

D'autre part, si l'on compte le nombre d'impressions existant entre les points A et A', A' et A'', A'' et A'''.., qui marquent les tours complets du disque, on trouve que ce nombre est de 40 en moyenne. A 18 tours du disque par seconde, la durée d'un tour est de $\frac{1}{18} = 0,055$ et le temps qui s'écoule entre deux étincelles successives est égal à $\frac{0,055}{40}$

Or, il existe entre D et A, 25 impressions et, par suite, 24 intervalles représentant chacun un temps égal à la fraction précédente. La durée du temps représenté par DA sur le cliché est donc

$$\frac{0,055 \times 24}{40} = 0^s,033$$

Mais d'après le tableau de la page 48, la première étincelle n'a éclaté, avec la pointe N° 1, que 0^s,0028 après la fer-

meture du circuit par le choc rotulien ; il y a donc lieu d'ajouter ce nombre au précédent, ce qui donne

$$0^s,033 + 0^s,0028 = 0^s,0358$$

pour le temps qui s'est écoulé entre l'instant où le courant a été fermé et celui où la grande ouverture a passé devant l'objectif.

b) Pour déterminer ce même temps, on peut, en supposant les arcs égaux à leurs cordes, mesurer avec un double décimètre, les arcs DA et A A' que l'on trouve ainsi égaux, le premier à 13^{mm}5, le second à 22^{mm}5.

La durée d'un tour complet du disque étant de $\frac{1}{18}$ ou 0^s,055, l'arc DA correspond par suite à un temps égal à

$$\frac{0.055 \times 13.5}{22.5} = 0^s,033$$

Le temps écoulé depuis l'instant du choc jusqu'au moment indiqué par le point A sera donc

$$0^s,033 + 0^s,0028 = 0^s,0358$$

nombre égal à celui auquel conduit la numération des étincelles.

c) On peut encore remarquer que, entre les points D et A de la courbe I, existent deux impressions plus intenses et que le début de cette courbe correspond à l'intervalle (II)a(III) de la figure schématique 12. Par suite, entre D et A, existent sept intervalles qui correspondent chacun à $\frac{1}{16}$

de tour du disque, c'est-à-dire à un temps $\frac{0.055}{16} = 0^s,0034$, plus deux intervalles, l'un vide d'impression, l'autre représentant l'impression maxima, lesquels, d'après les dimensions des secteurs correspondants du disque, sont équiva-

lents à un temps de $0^s,0076$, plus encore, la fraction à déterminer de l'intervalle (II) α (III) dans lequel a éclaté la première étincelle de la courbe I. Or, cet intervalle (II) α (III) correspond à $\frac{1}{16}$ de la surface du disque; d'autre part, nous avons dit que 40 étincelles éclatent pendant la durée d'un tour complet, ce qui donne deux à trois étincelles pendant chaque $\frac{1}{16}$ de tour. L'intervalle (II) α (III) devrait donc comprendre deux à trois images d'étincelles, tandis qu'il n'en comprend qu'une; cette image unique correspond par suite à la seconde moitié ou au troisième tiers du temps $0^s,0034$ qui représente $\frac{1}{16}$ de tour de disque. C'est donc le temps

$$\frac{0^s,0034}{2} = 0^s,0017 \text{ ou } \frac{0^s,0034}{3} = 0^s,0011 \text{ q'u'il faut ajouter.}$$

Il y a lieu, évidemment, de tenir compte encore du temps $0^s,0028$ ¹ écoulé entre l'établissement du courant et la première étincelle, ce qui donne :

$$7 \times 0,0034 + 0,0076 + 0,0011 + 0,0028 = 0^s,0352$$

ou :

$$7 \times 0,0034 + 0,0076 + 0,0017 + 0,0028 = 0^s,0359$$

nombres qui diffèrent de moins de $0^s,001$ de ceux obtenus par les deux procédés précédents.

INFLUENCE DE LA DISTANCE DE L'OBTURATEUR AU PLAN PRINCIPAL ANTÉRIEUR DE L'OBJECTIF. — L'existence de cette distance peut, dans certaines circonstances, introduire entre deux courbes d'un même cliché, et pour des arcs corres-

¹ On pourrait rendre inutile cette dernière correction, en faisant inscrire sur la plaque l'étincelle de fermeture du courant. J'ai d'ailleurs montré comment on peut reconnaître cette dernière (*C. R. Ac. Sc.*, 29 février 1904.)

pondants, des différences imprévues qui pourraient faire rejeter le cliché si la cause de ces différences n'était pas connue et si l'importance de cette cause ne pouvait être évaluée par un nombre.

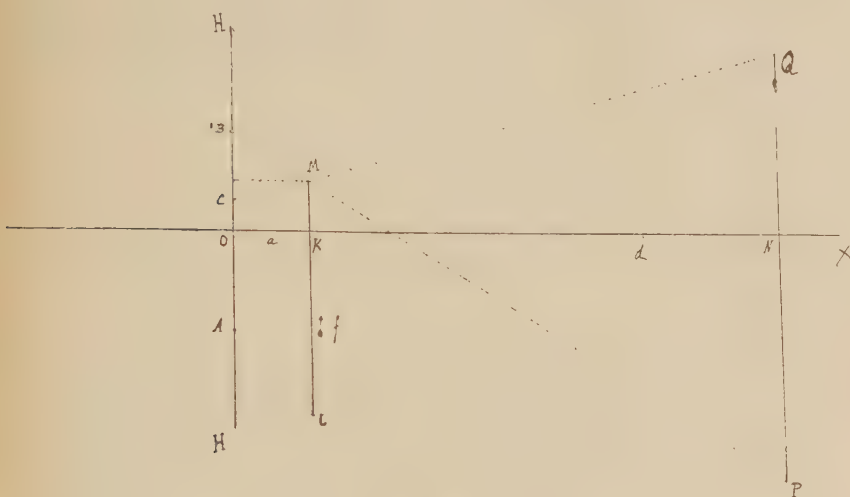


FIG. 14.

Soient, en effet, la section méridienne horizontale AB de l'objectif (*fig. 14*) : LM, un secteur plein de l'obturateur, dont le déplacement horizontal est indiqué par la flèche f ; P et Q, deux points lumineux situés dans le même plan de la figure qui seront, par exemple, les étincelles simultanées auxquelles sont dues les courbes I et E.

Dans la position LM du secteur plein, le point P ne peut déjà plus impressionner la plaque, tandis que les rayons issus de Q pourront encore, pendant un certain temps, être recueillis par l'objectif. Par suite, si la première étincelle éclate lorsque l'un des secteurs pleins du disque occupe la position LM, l'une des courbes présentera une image de plus que l'autre, ce qui va être la cause de quelque incertitude dans la détermination de l'origine du phénomène. Il résulte

d'ailleurs de ce qui précède que l'erreur qui peut résulter de ces circonstances est égale au temps pendant lequel le point Q peut encore envoyer des rayons sur l'objectif, après que les rayons issus de P ne peuvent plus être recueillis. Or, il est facile de calculer ce temps et de montrer que l'erreur dont il est ici question est négligeable.

En effet, AB étant le plan principal de l'objectif, la figure 14 donne :

$$\frac{CB}{PQ} = \frac{OK}{KN} = \frac{a}{d}$$

d'où

$$CB = PQ \frac{a}{d}$$

Dans notre installation, PQ a une valeur très variable, suivant les points lumineux que l'on considère. S'il s'agit de deux étincelles simultanées ¹, la distance PQ des deux régions de la règle où elles éclatent n'est que de 3 centimètres ; mais si P et Q représentent les points correspondants de deux des projections de la trajectoire décrite par une extrémité du pied, la distance PQ peut atteindre la valeur maxima de 1 mètre. Attribuons donc à PQ cette valeur maxima dans le calcul de CB ; comme, d'autre part, dans notre installation, $a = 0^m,03$ et $d = 3^m,50$, on aura :

$$CB = 1 \times \frac{0,03}{3,5} = 0^m008$$

La distance d étant très supérieure à la distance a , la droite CM peut être regardée comme parallèle à OK et l'erreur résultant de l'existence de la distance OK est, en conséquence, mesurée par le temps que met le point M du disque obtura-

¹ C'est-à-dire deux étincelles qui éclatent simultanément l'une à la grande coupure, l'autre à la petite coupure.

teur pour parcourir un espace de 0^m,008. Or, dans notre dispositif, ce point M se trouve à 15 cm. du centre de rotation du disque, qui, nous le savons, fait un tour complet en $\frac{1}{18}$ de seconde. Le point M mettra donc, pour se déplacer de 0^m,008, un temps égal à

$$\frac{1 \times 0.008}{18 \times 2\pi \times 0,15} = 0^s,0004$$

c'est à-dire un temps notablement inférieur à 0^s,001 et par suite absolument négligeable dans les conditions où nos expériences ont été effectuées.

EVALUATION DÉFINITIVE DE L'ERREUR DANS LA DÉTERMINATION DU TEMPS PERDU. — Pour faire cette détermination, il faut, d'après ce que nous avons dit, déterminer sur les clichés, d'une part, le moment précis du choc sur le tendon rotulien, d'autre part, le moment où le pied a commencé à se mouvoir sous l'influence du mouvement réflexe provoqué.

Or, on a vu que, en se servant, pour l'interrupteur Wehnelt, de pointes convenables, le premier de ces moments est inscrit sur le cliché avec une exactitude qui dépasse le millième de seconde. Toutefois, il faut faire exception pour le cas où la première étincelle éclaterait dans l'un des intervalles que nous avons appelés 0a et IIIc; l'image de cette première étincelle manque alors, et les clichés sur lesquels cette particularité aurait été réalisée doivent être rejetés.

Quant au mouvement du pied, on reconnaît toujours sur les projections de la trajectoire, à $\frac{1}{16}$ de tour du disque près, le moment où le mouvement a commencé. L'examen de la projection reproduite sur la figure 11 par exemple, permet, en effet, d'affirmer que le mouvement a commencé dans

l'intervalle III, mais il y a incertitude quant à la fraction de cet intervalle à laquelle le début a eu lieu. Comme cet intervalle III représente un temps de 0^o,0034, on voit que ce nombre donne la valeur maxima de l'erreur que l'on peut commettre dans la détermination du temps perdu.

Cette valeur maxima de l'erreur peut, il est vrai, atteindre 0^o,0034 quand le mouvement commence dans l'intervalle que nous avons appelé O ; mais cette circonstance se présentera rarement, et il y a lieu de rejeter les clichés sur lesquels elle se trouve réalisée.

Par contre, la valeur maxima de l'erreur s'abaisserait à 0^o,0023 si le mouvement commençait dans l'un des deux intervalles d'étendue minima qui existent de part et d'autre du trait le plus long et le plus intense.

Comme exemples numériques, nous donnons ci-dessous les nombres obtenus, toutes corrections faites, pour un certain nombre de sujets :

	DIAGNOSTIC	EXPÉRIENCES	TEMPS PERDU
	—	—	—
M.	Hystéro-traumatisme	Une seule	0 ^o 044
L.	Hystérie	1 ^{re}	0 ^o 052
		2 ^e	0 ^o 056
		3 ^e	0 ^o 056
		4 ^e	0 ^o 053
T.	Normal	1 ^{re}	0 ^o 096
		2 ^e	0 ^o 105

CONCLUSIONS

La nouvelle méthode d'enregistrement par la plaque photographique, que nous venons d'exposer, nous permet d'entreprendre l'étude très complète du réflexe rotulien au point de vue cinématique.

Elle permet notamment d'étudier :

1° La courbe complète décrite dans l'espace par un point quelconque du pied.

2° La position à un instant quelconque de l'axe antéro-postérieur du pied et, par conséquent, la position réelle du pied à un moment donné dans l'espace.

3° Les projections de la vitesse d'un point quelconque du pied à un moment donné sur trois plans rectangulaires, et par suite, en vertu d'un théorème connu, la vitesse absolue de ce point dans l'espace ; cette étude nous a montré que, pour les nommés M... et L..., chez lesquels le diagnostic d'hystéro traumatisme avait été posé, cette vitesse était notablement plus rapide au début du mouvement que chez un sujet normal.

4° Le temps perdu, c'est-à-dire le temps qui s'écoule depuis le moment où le choc a été produit sur le tendon rotulien jusqu'au moment où le pied commence à se mouvoir, peut être évalué avec une approximation de 0^s,0034 avec notre dispositif actuel ; toutefois, on peut réaliser une approximation bien plus grande, ainsi que nous le disons au cours de ce travail.

Vu et permis d'imprimer :
Montpellier, le 7 Avril 1904.

Pour le Recteur :

Le Vice-Président du Conseil de l'Université,

A. SABATIER.

Vu et approuvé :
Montpellier, le 7 Avril 1904.

Le Doyen

MAIRET.

SERMENT

En présence des Maîtres de cette Ecole, de mes chers Condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l'Être Suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine. Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe ; ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.
